

---

*Радіотехнічні кола та сигнали. Обчислювальні методи в радіoeлектроніці*

---

**РЕКУРЕНТНИЙ АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ  
RFID-МІТОК НА ОСНОВІ ВИМІРЮВАНЬ ПОТУЖНОСТІ  
СИГНАЛУ**

**Товкач І. О., к.т.н.; Притолюк П. Г., студент**

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського» м. Київ, Україна*

Необхідність визначати місцеположення і слідкувати за багатьма об'єктами в приміщенні або на невеликих територіях, таких як товарні склади, лікарні, приватні будівлі, завжди є актуальною задачею. Широке використання для вирішення цієї задачі знаходить технологія радіочастотної ідентифікації із застосуванням RFID-міток.

Для визначення місцеположення RFID-міток використовують один із основних методів, який базується на отриманні потужності сигналу від RFID-міток (RSS – Received signal strength). Цей метод характеризується простотою реалізації, що дозволяє ефективно використовувати його на практиці. Точність визначення місцеположення міток на основі цього методу залежить від похибки потужності отриманого сигналу.

У роботі [1] оцінка місцеположення RFID-міток визначається за критерієм найменших квадратів. Обчислення координат RFID-міток виконується після надходження вимірювань від всіх датчиків. Тому було розроблено алгоритм на основі математичного апарату розширеного фільтра Калмана, який дозволяє рекурентно уточнювати місцеположення RFID-міток в міру надходження вимірювань потужності сигналів від датчиків мережі.

Для визначення дальності на основі RSS-вимірювання використовується модель прямого поширення сигналу[2].

$$P_i = P_0 - 10 \cdot a \cdot \lg \left( \frac{R_i}{R_0} \right) + v_i, \quad (1)$$

де  $P_i$  — виміряна  $i$ -м датчиком потужність сигналу RFID-мітки, яка знаходиться на відстані  $R_i, i = \overline{1, n}$ ;  $P_0$  — потужність сигналу на відомій відстані  $R_0$ ;  $a$  — коефіцієнт загасання у вільному просторі (приблизно дорівнює 2);  $v_i$  — помилка виміряної потужності сигналу.

Координати RFID-міток  $x_k, y_k$  є статичними. Тому динаміку змінних параметрів можна подати у вигляді

$$u_k = u_{k-1}, \quad (2)$$

де  $u_k = (x_k, y_k)^T$  — вектор поточного стану, який містить координати RFID-міток за поточний такт  $k$ . Індекс  $k$  характеризує послідовність одержання RSS-вимірювання від датчиків.

Рівняння спостереження, яке описує механізм вимірювання потужності

прийнятого сигналу на  $k$ -му кроці, з урахуванням (1) можна представити у вигляді

$$r_k = h(u_k) + v_k, \quad (3)$$

де  $h(u_k)$  — нелінійна функція представлена у вигляді

$$h(u_k) = P_0 - 10 \cdot a \cdot \lg \left( \frac{\sqrt{(x_k - x_i^D)^2 + (y_k - y_i^D)^2}}{R_0} \right); \quad (4)$$

$v_k$  — гаусівська помилка вимірювання потужності з дисперсією  $\sigma_v^2$ .

Рівняння (4) є нелінійним. Тому для синтезу алгоритму оцінювання вектора стану застосовується математичний апарат розширеного фільтра Калмана [2]. Виконуючи лінеаризацію рівняння (4) щодо оцінених значень вектора станів, можна показати, що алгоритм оцінювання розташування RFID-міток описується рівняннями

$$K_k = \hat{P}_{k-1} \cdot \frac{\partial h^T(\hat{u}_{k-1})}{\partial u_k} \left[ \frac{\partial h(\hat{u}_{k-1})}{\partial u_k} \hat{P}_{k-1} \frac{\partial h^T(\hat{u}_{k-1})}{\partial u_k} + \sigma_v^2 \right]^{-1}; \quad (5)$$

$$\hat{u}_k = \hat{u}_{k-1} + K_k [r_k - h(\hat{u}_{k-1})]; \quad (6)$$

$$\hat{P}_k = \hat{P}_{k-1} - K_k \frac{\partial h(\hat{u}_{k-1})}{\partial u_k} \hat{P}_{k-1}, \quad (7)$$

де  $\hat{u}_k$  — оцінка вектора  $u_k$  на  $k$ -му кроці;  $\hat{P}_k$  — кореляційна матриця помилки оцінки вектора станів  $u_k$  на  $k$ -му кроці;  $K_k$  — коефіцієнт підсилення фільтра;

$$\frac{\partial h(\hat{u}_{k-1})}{\partial u_k} = \frac{-10 \cdot a}{\ln(10)} \cdot \left[ \frac{\hat{x}_{k-1} - x_i^D}{(\hat{x}_{k-1} - x_i^D)^2 + (\hat{y}_{k-1} - y_i^D)^2}; \frac{\hat{y}_{k-1} - y_i^D}{(\hat{x}_{k-1} - x_i^D)^2 + (\hat{y}_{k-1} - y_i^D)^2} \right].$$

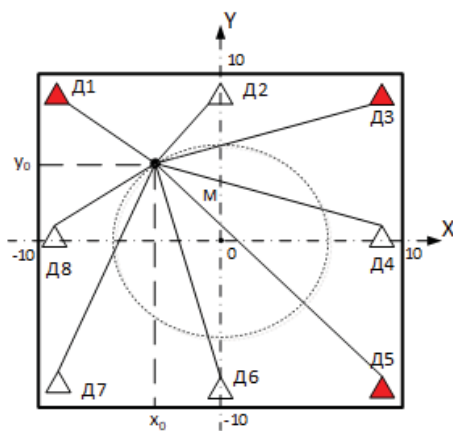


Рисунок 1. Конфігурація мережі датчиків і розміщення RFID-міток

Отриманий алгоритм (5-7) відноситься до класу квазіоптимальних алгоритмів з гаусівською апроксимацією апостеріорної щільності ймовірності.

На рис. 1 показана структурна схема розміщення датчиків, яка є оптимальною [3] та RFID-міток, які розташовані по колу  $R=5$  м. СКВ помилки вимірювання  $\sigma_v = 1$  дБ. На рис. 2 показано кругові СКВ помилки оцінки місцеположення RFID-міток, яке відповідає нижній границі Рао-Крамера (крива 6), і характе-

ризує потенційну можливу точність визначення координат. Значення кругових СКВ помилок визначення місцеположення міток рекурентного алгоритму (крива 3) близькі до відповідних значень кругових СКВ нижній границі Рао-Крамера, що свідчить про високу ефективність алгоритму. Ефективність розробленого алгоритму більше на 27% ніж використання відомих алгоритмів (крива 5).

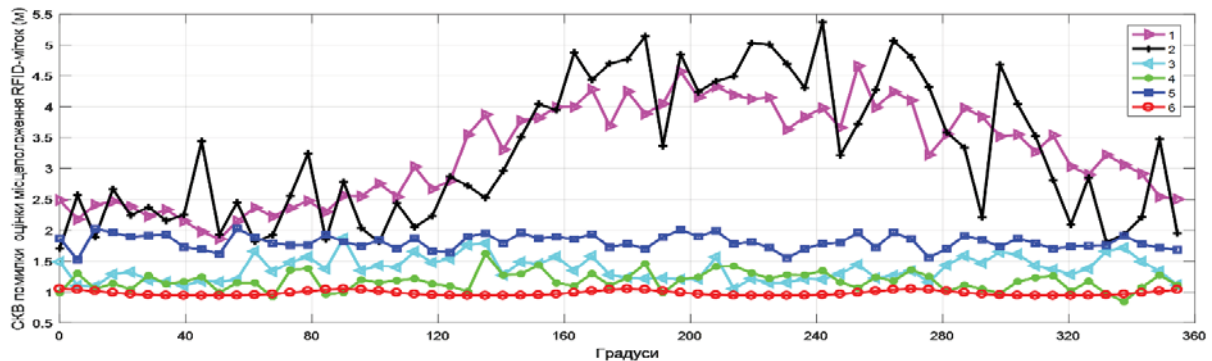


Рисунок 2. Кругові СКВ помилки оцінки місцеположення RFID-міток

#### Перелік посилань

1. [Matthew Chan](#), [Xiaowen Zhang](#) “Reader Leveled RFID Localization Approaches and Their Simulation”, IEEE, [Long Island Systems, Applications and Technology Conference \(LISAT\)](#), 2017.
2. Товкач І. О. Рекуррентний алгоритм пасивної локації в сенсорній мережі на основі вимірювання потужності прийнятого сигналу / І.О. Товкач, С.Я. Жук // Вестник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратостроєння. – 2016. – № 66. – с. 46-55.
3. Притолуко П. Г. (Науковий керівник Товкач І. О., к.т.н.) Аналіз впливу кількості датчиків на точність визначення місцеположення RFID-міток // РАДІОЕЛЕКТРОНІКА В ХХІ СТОЛІТТІ. - Київ: 2019. - С. 76-77.

#### Анотація

З використанням математичного апарату розширеного фільтра Калмана розроблено рекуррентний алгоритм визначення місцезнаходження RFID-міток на основі RSS-вимірювання. За допомогою статистичного моделювання виконано порівняльний аналіз точностних характеристик отриманого алгоритму та відомих алгоритмів, а також з нижньою границею Рао-Крамера.

**Ключові слова:** RFID-мітки, RSS-вимірювання, рекуррентний алгоритм.

#### Аннотация

С использованием математического аппарата расширенного фильтра Калмана разработан рекуррентный алгоритм определения местоположения RFID-меток на основе RSS-измерения. С помощью статистического моделирования выполнен сравнительный анализ точностных характеристик полученного алгоритма и известных алгоритмов, а также с нижней границей Рао-Крамера.

**Ключевые слова:** RFID-метки, RSS-измерения, рекуррентный алгоритм

#### Abstract

Using a Kalman advanced filter mathematical apparatus, we developed a recurrent algorithm for determining the location of RFID tags based on RSS measurements. Using the statistical modeling, a comparative analysis of the accuracy characteristics of the obtained algorithm and known algorithms was performed, as well as with the lower Rao-Kramer boundary.

**Keywords:** RFID tags, RSS measurements, recurrent algorithm.